

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

КРАСНОЯРСКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА –  
филиал ФГБОУ ВО  
«Иркутский государственный университет путей сообщения»

**А. Р. ХРИСТИНИЧ**  
**В. О. КОЛМАКОВ**

# **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Методические указания  
к лабораторным работам для студентов всех форм обучения  
специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов  
специализация «Электроснабжение железных дорог»

Красноярск  
КрИЖТ ИрГУПС  
2022

УДК 621.331  
Х 93

Рецензент:

О. В. КОЛМАКОВ, кандидат технических наук, доцент, Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Христинич, А. Р. Энергосбережение в системах электроснабжения : методические указания к лабораторным работам для студентов всех форм обучения специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов специализация «Электроснабжение железных дорог» / А. Р. Христинич, В. О. Колмаков ; КрИЖТ ИрГУПС. – Красноярск : КрИЖТ ИрГУПС, 2022. – 36 с.

Методические указания к лабораторным работам разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины Б1.В.ДВ.5.01 «Энергосбережение в системах электроснабжения».

Содержат описание 9 лабораторных работ. Изложены рекомендации по выполнению и оформлению, вопросы для подготовки к защите лабораторных работ.

Рекомендовано к изданию методическим советом КрИЖТ ИрГУПС

Печатается в авторской редакции

© Христинич А. Р., Колмаков В. О., 2022

© Красноярский институт

железнодорожного транспорта, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ.....	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. ВКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗКИ ПО СХЕМАМ “ЗВЕЗДА” И “ТРЕУГОЛЬНИК” В СИММЕТРИЧНОМ И НЕСИММЕТРИЧНОМ РЕЖИМАХ .....	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. ВЛИЯНИЕ ОДНОФАЗНЫХ НАГРУЗОК НА НЕСИММЕТРИЮ В ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. ВЛИЯНИЕ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ ВЫШЕ 1 КВ.....	19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. АНАЛИЗ ГРАФИКОВ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЯХ И КОЛЕБАНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ.....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ НИЖЕ 1 КВ.....	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. ИСКУССТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РПН .....	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ.....	28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМЕ .....	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	34
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ.....	35
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	36
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	37

## ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Энергосбережение в системах электроснабжения» предназначены для специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов. Цель методических указаний: помочь обучающемуся в изучении материала лабораторных работ и подготовке к промежуточной аттестации.

В указаниях подробно изложены темы лабораторных работ, с указанием целей, списка необходимых навыков. К каждой лабораторной работе указаны контрольные вопросы для защиты, на которые необходимо ответить для успешной защиты работы и для усвоения дисциплины в целом.

В результате освоения дисциплины «Энергосбережение в системах электроснабжения» обучающийся должен достигнуть следующих результатов образования:

### **Обучающийся должен знать:**

- общие принципы анализа показателей качества электрической энергии;
- устройство, принцип действия, технические характеристики и конструктивные особенности основных элементов энергосберегающей техники на тяговых преобразовательных подстанциях и на линейных устройствах системы тягового электроснабжения;
- фундаментальные инженерные теории для расчета показателей качества электрической энергии, параметров и технических характеристик энергосберегающего оборудования в системах электроснабжения при модернизации оборудования тяговых и трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения;
- формы организации труда по повышению качества электрической энергии, технологии обслуживания и ремонта техники в системах электроснабжения; технологию и оборудование для диагностики, тестирования процесса энергосбережения при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте устройств и систем тягового электроснабжения.

### **Обучающийся должен уметь:**

- оценивать показатели качества электрической энергии, эффективности оборудования и аппаратуры электроустановок на тяговых преобразовательных подстанциях и на линейных устройствах системы тягового электроснабжения;

- расследовать, учитывать и анализировать параметры энергосберегающей техники;
- разрабатывать организационные и технические мероприятия для повышения качества электрической энергии и эффективной работы оборудования при технической эксплуатации тяговых и трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения;
- разрабатывать организационные и технические мероприятия;
- обосновывать перспективную технологию повышения качества электрической энергии, эксплуатации, сервисного обслуживания и ремонта оборудования в системах электроснабжения в процессе технической эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте устройств и систем тягового электроснабжения.

**Обучающийся должен владеть:**

- методами расчета показателей качества электрической энергии и эксплуатационных характеристик электроустановок в системах электроснабжения;
- методами реализации измерения и оценки показателей качества электрической энергии, технологий эксплуатации, сервисного обслуживания и ремонта оборудования в системах электроснабжения;
- навыками работы с диагностическим оборудованием и методами выполнения специальных измерений показателей качества электрической энергии;
- приемами использования компьютерного программного обеспечения в процессе тестирования при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте устройств и систем тягового электроснабжения;
- выбора мест для размещения транспортных средств и бригад технического обслуживания устройств.

Целью лабораторных занятий выступает обеспечение понимания теоретического материала учебного курса и его включение в систему знаний студентов, формирование операциональной компоненты готовности специалиста, развитие различных составляющих его профессиональной компетентности. Проведение лабораторной работы с целью осмысления нового учебного материала включает в себя следующие этапы:

- постановку темы занятий и определение цели лабораторной работы;
- определение порядка проведения лабораторной работы или отдельных ее этапов;

– непосредственное выполнение лабораторной работы студентами и контроль преподавателя за ходом занятий и соблюдением техники безопасности;

– подведение итогов лабораторной работы и формулирование основных выводов;

– защита лабораторной работы.

На первом занятии преподаватель знакомит студентов с общими правилами работы в аудитории, техникой безопасности и структурой оформления лабораторной работы. Знакомит студента с процедурой защиты работы.

Студент должен придерживаться следующей структуры оформления отчёта о лабораторной работе:

– титульный лист с темой лабораторной работы, датой выполнения и фамилией студента;

– образец титульного листа представлен в Приложении А;

– образец оформления последующих листов отчёта лабораторной работы представлен в Приложении Б;

– цель работы;

– теоретическая часть (изложение основных теоретических положений изучаемой темы, формулировка законов, запись формул);

– экспериментальная часть, включающая описание опытов, или результат выполнения вычислительного (виртуального) эксперимента на компьютере;

– выводы (таблицы, графики, итоговые обобщения).

После окончания работы студент приводит в порядок рабочее место и сдает преподавателю.

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ**

## ***Методы и этапы работы***

Целью лабораторных занятий является закрепление навыков:

- чтения электрических схем;
- диагностирования электрических устройств;
- сборки и разборки электрических цепей;
- проведения измерительных опытов.

Основой лабораторного практикума выступают теоретические знания по теме лабораторной.

Проведение лабораторной работы включает в себя следующие этапы:

- обсуждение теоретического материала по теме лабораторной работы;
- обсуждение техники безопасности;
- определение целей и задач по лабораторной работе;
- определение оборудования и необходимых материалов для выполнения лабораторной работы;
- выполнение лабораторной работы с занесением измеренных и/или рассчитанных показаний в рабочую тетрадь;
- оценка полученных показаний преподавателем.

## **Техника безопасности**

Перечислены общие правила работы в лаборатории классе и техника безопасности:

- к непосредственной работе на комплекте лабораторного оборудования допускаются обучающиеся, прошедшие инструктаж по охране труда и пожарной безопасности, медицинский осмотр, а также не имеющие медицинских противопоказаний;
- при эксплуатации комплекта лабораторного оборудования на обучающегося могут оказывать действие следующие опасные и вредные производственные факторы: повышенный уровень статического электричества; опасное напряжение в электрической цепи;
- обучающийся при выполнении лабораторной работы на комплекте лабораторного оборудования обязан: содержать в чистоте рабочее место и обеспечивать сохранность имущества института; соблюдать режим труда и

отдыха в зависимости от продолжительности, вида и категории трудовой деятельности; соблюдать требования правил и норм по охране труда и пожарной безопасности;

- обучающийся должен знать: действия на человека опасных и вредных производственных факторов; требования электробезопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии; места нахождения приборов экстренного отключения электрического напряжения, питающего лабораторную установку; места расположения первичных средств огнетушения, правила пользования огнетушителями; правила оказания первой помощи пострадавшему; место нахождения медицинской аптечки;

- обучающиеся должны выполнять следующие требования пожарной и электробезопасности: использовать только неповрежденные розетки, вилки и другие электроустановочные изделия; работать с проводами и кабелями, имеющими неповрежденную и утратившую защитные свойства изоляцию; не оставлять без присмотра включенными в сеть электрические приборы;

- перед началом работ необходимо: ознакомиться методическими указаниями по выполнению лабораторной работы, в том числе с описанием лабораторного стенда; приготовить и проверить исправность проводов и кабелей, используемых для составления требуемой схемы питания;

- во время работы: питание схемы осуществляется только от блоков комплекта и расположенных на стенде генераторов постоянного и переменного напряжения кнопкой “СЕТЬ”, расположенной на стенде; включение источников питания комплекта и схемы производить только после сбора электрической цепи согласно методическим указаниям и разрешения преподавателя; подключение измерительных приборов и иные измерения в структуре электрической цепи производить только при отключении питания схемы; при выполнении лабораторной работы на одном стенде группой обучающихся запрещается производить подключения стенда (схемы) к питанию при касании хотя бы одного студента к токоведущим частям стенда (схемы); не прикасаться к задней части комплекта и персонального компьютера, а также отключение оборудования от электросети держась за шнур;

- при выполнении работ запрещается включать автоматически отключившуюся электроустановку без разрешения руководителя работ;

- по окончании работ необходимо: доложить преподавателю об окончании выполнения работы; отключить питание стенда и компьютера; разобрать схему питания; сложить соединительные провода и кабели на места хранения.



## **Структура оформления лабораторной работы**

Отчет по решению преподавателя может быть представлен в одном из видов:

- в текстовом редакторе с необходимыми рисунками, таблицами и формулами,

- в рабочей тетради, в которой цель, задачи и ход работы могут быть записаны от руки, а необходимые графики и таблицы вклеены после распечатки,

- на листах формата А4, скрепленных между собой.

Обучающийся должен придерживаться следующей структуры оформления лабораторной работы, согласно Нормоконтроля:

- титульный лист;
- содержание;
- цели и задачи ;
- оборудование и материалы;
- краткие теоретические сведения по теме лабораторной работы;
- практическая часть;
- вывод по проделанной лабораторной работе.

После окончания работы обучающийся приводит в порядок рабочее место и сдает преподавателю.

## **Проверка и защита лабораторных работ**

В ходе проверки преподаватель:

- оценивает правильность оформления лабораторной работы;
- оценивает соответствие всех разделов;
- оценивает практическую часть (правильность измеренных показаний, отображение графиков, расчёт необходимых параметров и т.д.).

Защита лабораторной работы осуществляется в форме сократического диалога сразу после ее выполнения или на следующем занятии.

В процессе защиты преподаватель должен:

- оценить теоретические знания студента по теме лабораторной работы;
- оценить практическую составляющую лабораторной работы (вовлеченность студента в выполнение лабораторной работы и расчетную часть).

# Лабораторная работа № 1

## Включение нагрузки по схемам “звезда” и “треугольник” в симметричном и несимметричном режимах

*Время выполнения работы: 2 часа.*

### Цель работы

Изучить работу схем “звезда” и “треугольник” в симметричном и несимметричном режимах.

### Задачи работы

- собрать электрическую цепь, предложенную преподавателем;
- провести необходимые измерения параметров цепи;
- занести измеренные показания в рабочую тетрадь;
- проанализировать результаты и сделать вывод о проделанной работе.

### Оборудование и материалы

- типовое лабораторное оборудование «Теория электрических цепей и основы электроники»: установки ТОЭ1-С-К (ТОЭ1-С-Р);
- рабочая тетрадь и принадлежности для записи;

### Краткие теоретические сведения

1. Линейным называется провод, соединяющий начала фаз обмотки генератора и приемника. Точка, в которой концы фаз соединяются в общий узел, называется нейтральной (на рисунке 33 N и N' – соответственно нейтральные точки генератора и нагрузки);
2. Все величины, относящиеся к фазам, носят название фазных переменных, к линии - линейных. При соединении в звезду линейные токи  $I_a, I_b, I_c$ , равны соответствующим фазным токам. Следует отметить, что всегда сумма комплексных значений линейных напряжений равняется нулю, как сумма напряжений по замкнутому контуру;
3. Источником трехфазного напряжения является трехфазный генератор, на статоре которого размещена трехфазная обмотка. Фазы этой обмотки располагаются таким образом, чтобы их

магнитные оси были сдвинуты в пространстве друг относительно друга на 120 электрических градусов. Каждая фаза статора условно показывается в виде одного витка. Начала обмоток принято обозначать заглавными буквами А, В, С, а концы - соответственно прописными  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . ЭДС в неподвижных обмотках статора индуцируются в результате пересечения их витков магнитным полем, создаваемым током обмотки возбуждения вращающегося ротора. При вращении ротора с равномерной скоростью в обмотках фаз статора индуцируются периодически изменяющиеся синусоидальные ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, но отличающиеся вследствие пространственного сдвига друг от друга по фазе на 120 градусов

В идеальном трансформаторе, то есть в трансформаторе без потерь, потребляемая им мощность равна мощности отдаваемой. В реальности, однако, имеют место потери мощности в меди обмоток (в омических сопротивлениях обмоток) и в сердечнике трансформатора, поэтому резистору нагрузки отдается только часть потребляемой трансформатором мощности.

### Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему по рисунку 1 и подключить источник напряжения;
- 2 Включить виртуальные приборы;
- 3 Измерить токи и напряжения в симметричном и несимметричном режимах;
- 4 Занести данные в таблицу;
- 5 Собрать схему по рисунку 2 и подключить источник напряжения;
- 6 Включить виртуальные приборы;
- 7 Измерить токи и напряжения в симметричном и несимметричном режимах;
- 8 Занести данные в таблицу;

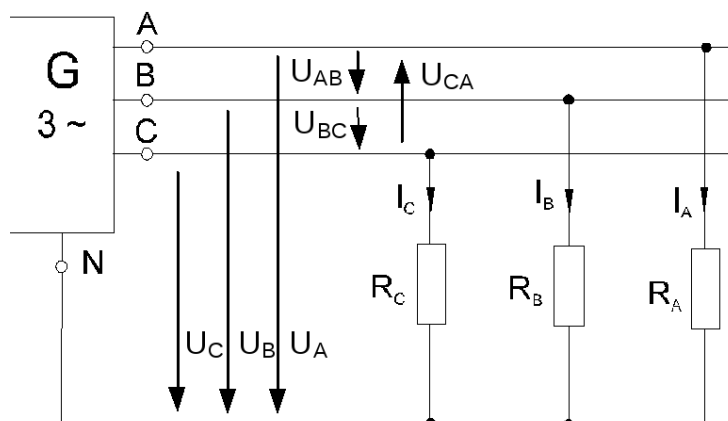


Рисунок 1 – Электрическая цепь для исследования работы трёхфазной электрической цепи, соединенной схеме “звезда”

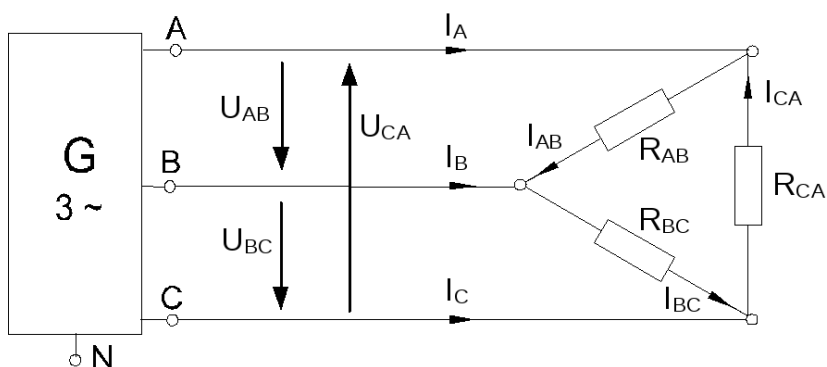


Рисунок 2 – Электрическая цепь для исследования работы трёхфазной электрической цепи, соединенной схеме “треугольник”

### Варианты заданий

Таблица 1

Вариант	U, В	R <sub>a</sub> , Ом	R <sub>b</sub> , Ом	R <sub>c</sub> , Ом
1	7	1000	1000	1000
2	7	680	680	100
3	7	330	330	100

### Оформление отчета

- 1 Проверить все измеренные и расчетные параметры;
- 2 Оформить отчет согласно Нормоконтроля;

### Вопросы для подготовки к защите:

1. Дайте определение трехфазной системе переменного тока.
2. Какие схемы соединения трехфазных цепей существуют? Какие у них отличия?
3. Дайте определение качеству электрической энергии.

## Лабораторная работа № 2

### Включение однофазных нагрузок на несимметрию в трёхфазной цепи переменного тока

Время выполнения работы: 2 часа.

## Цель работы

Изучить влияние однофазных нагрузок на несимметрию в трехфазной цепи переменного тока.

## Задачи работы

- собрать электрическую цепь, предложенную преподавателем;
- провести необходимые измерения параметров цепи;
- занести измеренные показания в рабочую тетрадь;
- проанализировать результаты и сделать вывод о проделанной работе.

## Оборудование и материалы

- типовое лабораторное оборудование «Теория электрических цепей и основы электроники»: установки ТОЭ1-С-К (ТОЭ1-С-Р);
- рабочая тетрадь и принадлежности для записи;

## Краткие теоретические сведения

1. Несимметричные режимы обуславливаются тремя причинами: неодинаковыми нагрузками фаз элементов сети, вызываемыми работой ЭП с нестабильной нагрузкой фаз (например, дуговых сталеплавильных печей) и однофазных ЭП (особенно это заметно в сетях 0,4 кВ, хотя и в промышленности существуют однофазные ЭП достаточно большой мощности); неполнофазной работой линий, вызванной кратковременным отключением одной из фаз линии при коротких замыканиях или более долговременным отключением при фазных ремонтах, наличием поперечных реакторов не во всех фазах линии и т. п.; неравенством фазных параметров линий. Небольшое отличие фазных параметров обусловлено различием расположения проводов на опоре. Для выравнивания фазных параметров на линиях большой длины и высоких напряжений (330–750 кВ) осуществляют транспозицию проводов (поочередное изменение расположения фаз). Несимметрия напряжений, обусловленная этой причиной, на порядок меньше первых двух.

2. Наиболее частой причиной несимметрии напряжений на практике является неравенство токовых нагрузок фаз. При этом различают два вида несимметрии: систематическую и вероятностную несимметрию. Характерной чертой систематической несимметрии является постоянная перегрузка одной из фаз; в этом случае производят выравнивание нагрузок фаз путем переключения части нагрузок с перегруженной на недогруженную фазу.

### Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему по рисунку 3 и подключить источник напряжения (номиналы резисторов должны быть различны);
- 2 Включить виртуальные приборы;
- 3 Измерить токи и напряжения в несимметричном режиме;
- 4 Изменить нагрузку на фазах в свободном порядке, то есть поменять местами резисторы;
- 5 Оценить изменение токов и напряжений;
- 6 Занести данные в таблицу и сделать вывод;

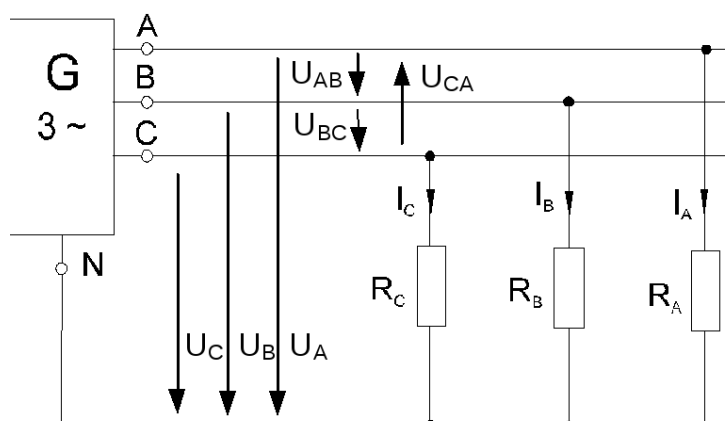


Рисунок 3 – Электрическая цепь для исследования несимметрии в трёхфазной цепи переменного тока

### Варианты заданий

Таблица 2

Вариант	U, В	R <sub>a</sub> , Ом	R <sub>b</sub> , Ом	R <sub>c</sub> , Ом
1	7	1000	680	330
2	7	680	330	220
3	7	330	220	150

## **Оформление отчета**

- 1 Проверить все измеренные и расчетные параметры;
- 2 Оформить отчет согласно Нормоконтроля;

## **Вопросы для подготовки к защите:**

1. Дайте определение несимметрии напряжения?
2. Какие типы нагрузок существуют?
3. Чем определяется несимметрия?

## **Лабораторная работа № 3**

### **Влияние нагрузок на качество электрической энергии**

*Время выполнения работы: 2 часа.*

#### **Цель работы**

Изучить влияние нагрузок на качество электрической энергии.

#### **Задачи работы**

- собрать электрическую цепь, предложенную преподавателем;
- провести необходимые измерения параметров цепи;
- занести измеренные показания в рабочую тетрадь;
- проанализировать результаты и сделать вывод о проделанной работе.

#### **Оборудование и материалы**

- типовое лабораторное оборудование «Теория электрических цепей и основы электроники»: установки ТОЭ1-С-К (ТОЭ1-С-Р);
- рабочая тетрадь и принадлежности для записи;

#### **Краткие теоретические сведения**

1. Электрическая энергия характеризуется такими показателями качества, как напряжение в сети, частота тока и форма синусоиды переменного тока. Поставщики электроэнергии обязаны поддерживать все ее параметры в соответствии с требованиями

стандарта. В зависимости от работающих потребителей нагрузки, величина основных характеристик изменяется, что способствует при больших отклонениях возникновению неисправностей электрических бытовых устройств, так как снижается качество электроэнергии;

2. Изменения параметров электрической сети, мощности и характера нагрузки во времени являются основной причиной изменения ПКЭ. Таким образом, ПКЭ – установившееся отклонение напряжения, коэффициенты, характеризующие несинусоидальность и несимметрию напряжений, отклонение частоты, размах изменения напряжения и др. – величины случайные и их измерения, и обработка должны базироваться на вероятностно-статистических методах. Поэтому, как уже отмечалось, в стандарте устанавливаются нормы ПКЭ и оговаривается необходимость их выполнения в течение 95 % времени каждых суток (для нормально допустимых значений)

### Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему по рисунку 4 и подключить источник напряжения (номиналы резисторов должны быть различны);
- 2 Включить виртуальные приборы;
- 3 Измерить токи и напряжения в несимметричном режиме;
- 4 Изменить нагрузку на любой фазе на ёмкостную (номинал выбирает преподаватель): несимметрию и несинусоидальность;
- 5 Оценить изменение токов и напряжений по осциллограмме;
- 6 Изменить нагрузку на любой фазе на индуктивную по осциллограмме (номинал выбирает преподаватель): несимметрию и несинусоидальность;
- 7 Занести данные в таблицу и сделать вывод;

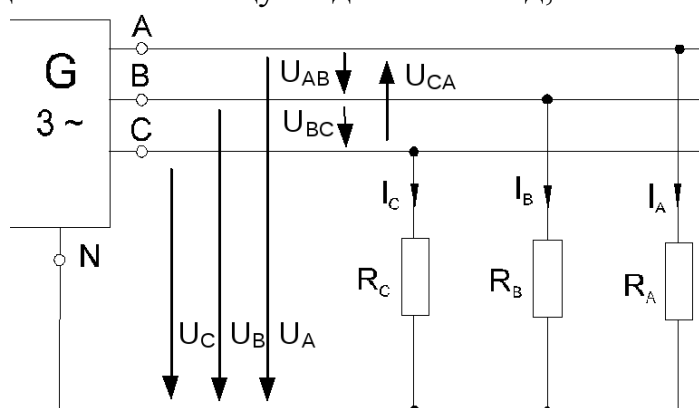


Рисунок 4 – Электрическая цепь для исследования влияния нагрузок на качество электрической энергии



## Варианты заданий

Таблица 3

Вариант	U, В	Ra, Ом	Rb, Ом	Rc, Ом
1	7	1000	680	330
2	7	680	330	220
3	7	330	220	150

## Оформление отчета

- 1 Проверить все измеренные и расчетные параметры;
- 2 Оформить отчет согласно Нормоконтроля;

## Вопросы для подготовки к защите:

1. Какие показатели качества электроэнергии существуют?
2. Какие показатели качества наиболее значимые?
3. Дайте определение дозе фликера.

## Лабораторная работа № 4

### Влияние изменения частоты на уровень напряжения в сетях выше 1 кВ

*Время выполнения работы: 2 часа.*

## Цель работы

Изучить влияние изменения частоты на уровень напряжения в сети.

## Задачи работы

- собрать электрическую цепь, предложенную преподавателем;
- провести необходимые измерения параметров цепи;
- занести измеренные показания в рабочую тетрадь;
- проанализировать результаты и сделать вывод о проделанной работе.

## Оборудование и материалы

- типовое лабораторное оборудование «Теория электрических цепей и основы электроники»: установки ТОЭ1-С-К (ТОЭ1-С-Р);
- рабочая тетрадь и принадлежности для записи;

## Краткие теоретические сведения

1. Известно, что снижение частоты на 1 % увеличивает потери активной мощности и энергии в электрических сетях на 2 %.
2. При изменении частоты изменяется потребляемая ЭП мощность. Лишь у небольшой группы ЭП, имеющих активное сопротивление: лампы накаливания, электроустановки с нагревательными элементами и др., потребляемая мощность не зависит от частоты.
3. При длительной работе на пониженной частоте сокращается срок службы оборудования, содержащего элементы со сталью (трансформаторы, электродвигатели) за счет увеличения тока намагничивания и дополнительного нагрева стальных элементов.

## Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему по рисунку 5 и подключить источник напряжения;
- 2 Включить виртуальные приборы;
- 3 Измерить токи и напряжения при изменении частоты от 50 до 300 Гц;
- 4 Занести данные в таблицу и сделать вывод;
- 5 Собрать схему по рисунку 6 и подключить источник напряжения;
- 6 Включить виртуальные приборы;
- 7 Измерить токи и напряжения при изменении частоты от 50 до 300 Гц;
- 8 Занести данные в таблицу и сделать вывод;

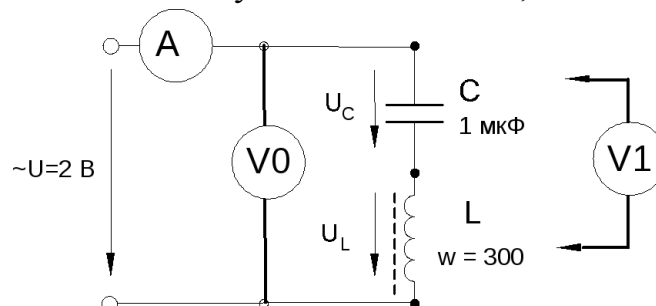


Рисунок 5 – Схема замещения электрической цепи для исследования влияния изменения частоты на сеть при последовательном соединении элементов

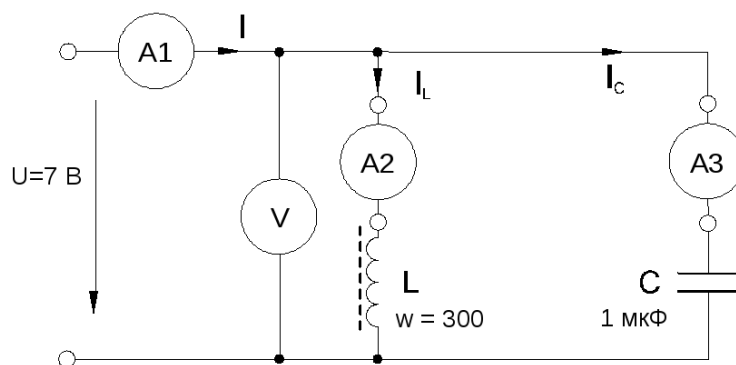


Рисунок 6 – Схема замещения электрической цепи для исследования влияния изменения частоты на сеть при параллельном соединении элементов

### Варианты заданий

Таблица 4

Вариант	U, В	C, мкФ	L, мГн
1	2	1	10
2	3	10	100
3	5	100	480

### Оформление отчета

- 1 Проверить все измеренные и расчетные параметры;
- 2 Оформить отчет согласно Нормоконтроля;

### Вопросы для подготовки к защите:

1. Какое значение промышленной частоты?
2. Какие допустимое отклонение частоты по ГОСТ?
3. Какое влияет изменение частоты на уровень напряжения?

## Лабораторная работа № 5

### Анализ графиков напряжений при значительных отклонениях и колебаниях напряжения

Время выполнения работы: 2 часа.

## Цель работы

Провести анализ графиков напряжений при значительных отклонениях и колебаниях напряжений.

## Задачи работы

- собрать электрическую цепь, предложенную преподавателем;
- провести необходимые измерения параметров цепи;
- занести измеренные показания в рабочую тетрадь;
- проанализировать результаты и сделать вывод о проделанной работе.

## Оборудование и материалы

- типовое лабораторное оборудование «Теория электрических цепей и основы электроники»: установки ТОЭ1-С-К (ТОЭ1-С-Р);
- рабочая тетрадь и принадлежности для записи;

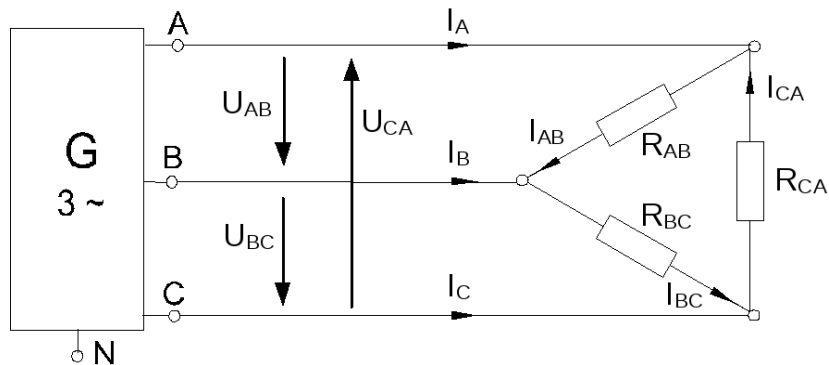
## Краткие теоретические сведения

1. Каждый электроприемник спроектирован для работы при номинальном напряжении и должен обеспечивать нормальное функционирование при отклонениях напряжения от номинального на заданную величину. При изменении напряжения в пределах этого диапазона могут изменяться значения выходного параметра электроприемника (температура в электротермической установке, освещенность у светильников, полезная мощность на валу электродвигателя и т.д.)
2. Основными причинами отклонений напряжения в системах электроснабжения предприятий являются изменения режимов работы приемников электроэнергии, изменения режимов питающей энергосистемы, значительные индуктивные сопротивления линий 6-10 кВ. Изменения напряжения на зажимах приемника электроэнергии даже в установленных пределах вызывает изменение его технико-экономических показателей. Отклонения напряжения зависят от очень многих случайных и к тому же часто изменяющихся факторов.
3. Последствия от отклонений напряжения зависят не только от величины, но и от продолжительности отклонения, а также от того,

какой процент потребителей подвергается большим отклонениям. Так, например, кратковременные и редкие, хотя даже и значительные отклонения напряжения у отдельных потребителей не могут оправдать расходов, связанных с удорожанием сети, которое будет необходимо для уменьшения или ликвидации этих отклонений.

### Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему по рисунку 7 и подключить источник напряжения несинусоидальных колебаний (номиналы резисторов должны быть различны);
- 2 Включить виртуальные приборы;
- 3 Измерить токи и напряжения;
- 4 Занести данные в таблицу и сделать вывод;



*Рисунок 7 – Схема замещения электрической цепи для анализа графиков напряжений при значительных отклонениях и колебаниях напряжений*

### Варианты заданий

*Таблица 3*

Вариант	U, В	R <sub>a</sub> , Ом	R <sub>b</sub> , Ом	R <sub>c</sub> , Ом
1	7	1000	680	330
2	7	680	330	220
3	7	330	220	150

### Оформление отчета

- 1 Проверить все измеренные и расчетные параметры;
- 2 Оформить отчет согласно Нормоконтроля;

## **Вопросы для подготовки к защите:**

1. Дайте определение отклонения напряжения.
2. Дайте определение колебания напряжения.
3. Какие допустимые уровни отклонения и колебания напряжения в сети по ГОСТ?

## **Лабораторная работа № 6**

### **Качество электрической энергии в сетях ниже 1 кВ**

*Время выполнения работы: 2 часа.*

#### **Цель работы**

Провести анализ качества электрической энергии в сетях ниже 1 кВ.

#### **Задачи работы**

- собрать электрическую цепь, предложенную преподавателем;
- провести необходимые измерения параметров цепи;
- занести измеренные показания в рабочую тетрадь;
- проанализировать результаты и сделать вывод о проделанной работе.

#### **Оборудование и материалы**

- типовое лабораторное оборудование «Теория электрических цепей и основы электроники»: установки ТОЭ1-С-К (ТОЭ1-С-Р);
- рабочая тетрадь и принадлежности для записи;

#### **Краткие теоретические сведения**

1. Доза колебаний напряжения идентична размаху изменения напряжения и в действующих электрических сетях вводится по мере их оснащения соответствующими приборами. При использовании показателя «доза колебаний напряжения» оценка допустимости размаха изменения напряжения может не производиться, так как рассматриваемые показатели взаимозаменяемы.
2. Доза колебаний напряжения также представляет собой интегральную характеристику колебаний напряжения, вызывающих у человека

накапливающееся за установленный период времени раздражение из-за миганий света в диапазоне частот от 0,5 до 0,25 Гц.

3. Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения нечетного (четного) порядка представляет собой отношение действующего значения  $n$ -й гармонической составляющей напряжения к действующему значению напряжения основной частоты, то есть  $k_{U(n)} = (U_n/U_n) \times 100\%$
4. Изменения частоты обусловлены изменениями суммарной нагрузки и характеристиками регуляторов частоты вращения турбин. Большие отклонения частоты возникают в результате медленного регулярного изменения нагрузки при недостаточном резерве активной мощности. Частота напряжения в отличие от других явлений, ухудшающих качество электроэнергии, является общесистемным параметром: все генераторы, присоединенные к одной системе, генерируют электроэнергию на напряжении одинаковой частоты — 50 Гц.

### Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему по рисунку 8 и подключить источник напряжения (номиналы резисторов должны быть различны);
- 2 Включить виртуальные приборы;
- 3 Убедитесь, что в схеме с нулевым проводом происходит отключение источника защитой;
- 4 Убедитесь, что в схеме без нулевого провода короткое замыкание в фазе нагрузки не приводит к отключению;
- 5 Измерить токи и напряжения;
- 6 Занести данные в таблицу;
- 7 Построить векторные диаграммы.

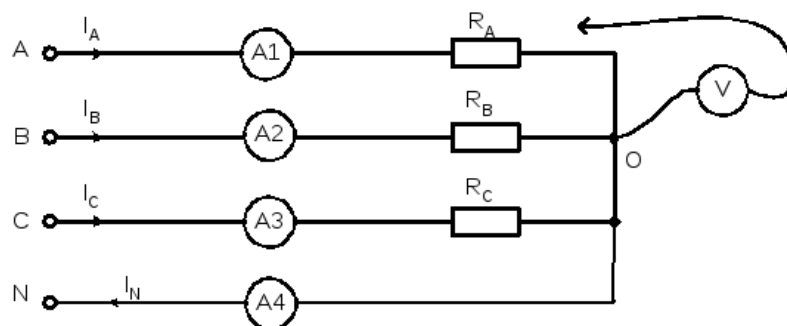


Рисунок 8 – Схема замещения электрической цепи для анализа качества напряжения в сети

## Варианты заданий

Таблица 3

Вариант	U, В	Ra, Ом	Rb, Ом	Rc, Ом
1	7	1000	680	330
2	7	680	330	220
3	7	330	220	150

## Оформление отчета

- 1 Проверить все измеренные и расчетные параметры;
- 2 Оформить отчет согласно Нормоконтроля;

## Вопросы для подготовки к защите:

1. Какие способы определения качества существуют?
2. Как проходит анализ качества электроэнергии?
3. Что подразумевают под качеством электроэнергии в сетях?

## Лабораторная работа № 7

### Искусственное регулирование напряжения с использованием РПН

*Время выполнения работы: 2 часа.*

#### Цель работы

Провести анализ работы схемы при искусственном регулировании напряжения.

#### Задачи работы

- собрать электрическую цепь, предложенную преподавателем;
- провести необходимые измерения параметров цепи;
- занести измеренные показания в рабочую тетрадь;
- проанализировать результаты и сделать вывод о проделанной работе.



## Оборудование и материалы

- типовое лабораторное оборудование «Теория электрических цепей и основы электроники»: установки ТОЭ1-С-К (ТОЭ1-С-Р);
- рабочая тетрадь и принадлежности для записи;

## Краткие теоретические сведения

1. Трансформатор – статическое электромагнитное устройство для преобразования одного уровня напряжения в другой;
2. Трансформатор состоит из двух или большего числа катушек (обмоток), магнитная связь, между которыми обеспечивается с помощью ферромагнитного сердечника. Трансформаторы используются для преобразования и согласования напряжений, токов и сопротивлений, а также для развязывания электрических цепей (гальваническая развязка);
3. В идеальном трансформаторе, то есть в трансформаторе без потерь, потребляемая им мощность равна мощности отдаваемой. В реальности, однако, имеют место потери мощности в меди обмоток (в омических сопротивлениях обмоток) и в сердечнике трансформатора, поэтому резистору нагрузки отдается только часть потребляемой трансформатором мощности.
4. Регулирование напряжения может быть автоматическим, без отключения трансформатора от сети. При этом потребитель даже не чувствует, что в трансформаторе происходят какие-то изменения. Такое регулирование напряжения называют регулированием под нагрузкой (РПН). Однако РПН требует применения сложных и дорогих переключающих устройств. Поэтому для трансформаторов небольшой мощности часто применяют регулирование напряжения без возбуждения, то есть после отключения всех их обмоток от сети. Этот способ регулирования сокращенно называют ПБВ (переключение без возбуждения). После переключения трансформатор вновь включается в работу. При этом способе потребителя на какое-то время вообще отключают от сети. Особенно неудобно это там, где нагрузка меняется часто. Зато устройства ПБВ просты по конструкции и относительно дешевы.

## Порядок выполнения работы

1. Собрать схему по рисунку 9 и подключить источник напряжения (номиналы резисторов должны быть различны);
2. Включить виртуальные приборы;
3. Измерить уровни напряжения при переключении напряжения;
4. Показания занести в таблицу.

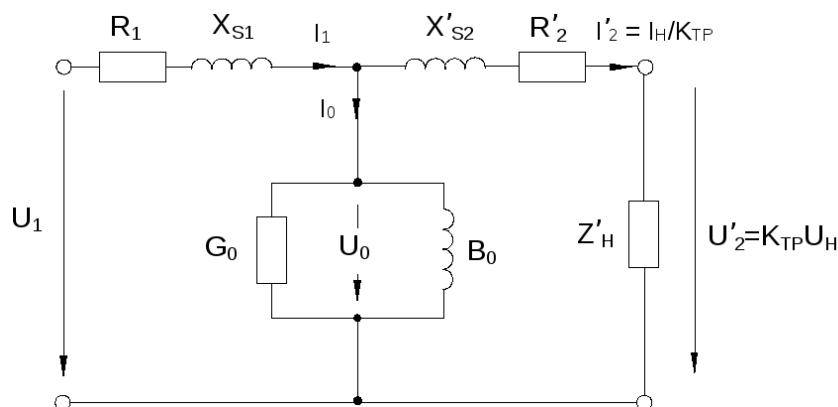


Рисунок 9 – Схема замещения электрической цепи для искусственного регулирования напряжения

## Варианты заданий

Таблица 3

Вариант	U, В	R1, Ом	R2, Ом
1	24	1000	680
2	7	680	330
3	24	330	220

## Оформление отчета

1. Проверить все измеренные и расчетные параметры;
2. Оформить отчет согласно Нормоконтроля;

## Вопросы для подготовки к защите:

1. Какое назначение трансформатора?
2. Расшифруйте аббревиатуру РПН. Чем регулирование с РПН отличается от ПБВ?
3. Какое регулирование лучше?

## **Лабораторная работа № 8**

### **Использование УПК для снижения потерь напряжения**

*Время выполнения работы: 2 часа.*

#### **Цель работы**

Провести анализ потерь напряжения в схеме при использовании устройств продольной компенсации.

#### **Задачи работы**

- собрать электрическую цепь, предложенную преподавателем;
- провести необходимые измерения параметров цепи;
- занести измеренные показания в рабочую тетрадь;
- проанализировать результаты и сделать вывод о проделанной работе.

#### **Оборудование и материалы**

- типовое лабораторное оборудование «Теория электрических цепей и основы электроники»: установки ТОЭ1-С-К (ТОЭ1-С-Р);
- рабочая тетрадь и принадлежности для записи;

#### **Краткие теоретические сведения**

1. Для определения мощности конденсаторной установки используется нахождение реактивной мощности установки по активной мощности и коэффициента, вычисляемый из соотношения естественного и требуемого коэффициента мощности;
2. В ряде случаев, например, если конденсаторная установка установлена на трансформаторной подстанции, при определении ее мощности необходимо учитывать характеристики снабжающей энергосистемы, то есть трансформатора.

#### **Порядок выполнения работы**

- 1 Собрать схему по рисунку 10 и подключить источник напряжения (номиналы резисторов должны быть различны);
- 2 Включить виртуальные приборы;

3 Измерить уровни напряжения при изменении ёмкости конденсатора с 1 до 10 и 100 мкФ;

4 Провести расчет потерь напряжения при разных значениях ёмкости конденсатора;

5. Показания занести в таблицу.

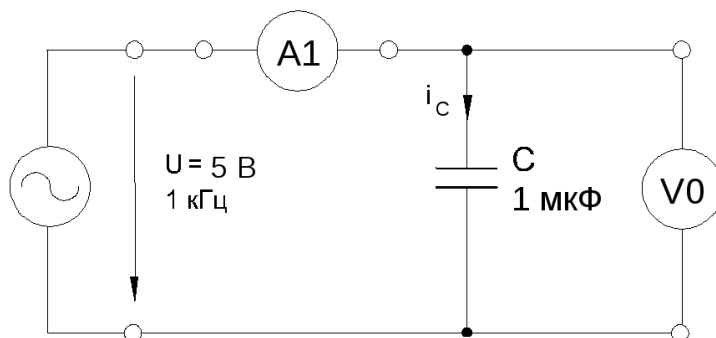


Рисунок 10 – Схема замещения электрической цепи анализа потерь напряжения при использовании УПК

### Варианты заданий

Таблица 3

Вариант	U, В
1	15
2	7
3	5

### Оформление отчета

- 1 Проверить все измеренные и расчетные параметры;
- 2 Оформить отчет согласно Нормоконтроля;

### Вопросы для подготовки к защите:

1. Расшифруйте аббревиатуру УПК.
2. Какие методы расчета конденсаторных установок существуют?
3. Что входит в состав УПК?

## Лабораторная работа № 9

### Использование источников реактивной мощности для

## **снижения амплитуды колебания реактивной мощности в системе**

*Время выполнения работы: 2 часа.*

### **Цель работы**

Провести анализ потерь напряжения в схеме при использовании устройств продольной компенсации.

### **Задачи работы**

- собрать электрическую цепь, предложенную преподавателем;
- провести необходимые измерения параметров цепи;
- занести измеренные показания в рабочую тетрадь;
- проанализировать результаты и сделать вывод о проделанной работе.

### **Оборудование и материалы**

- типовое лабораторное оборудование «Теория электрических цепей и основы электроники»: установки ТОЭ1-С-К (ТОЭ1-С-Р);
- рабочая тетрадь и принадлежности для записи;

### **Краткие теоретические сведения**

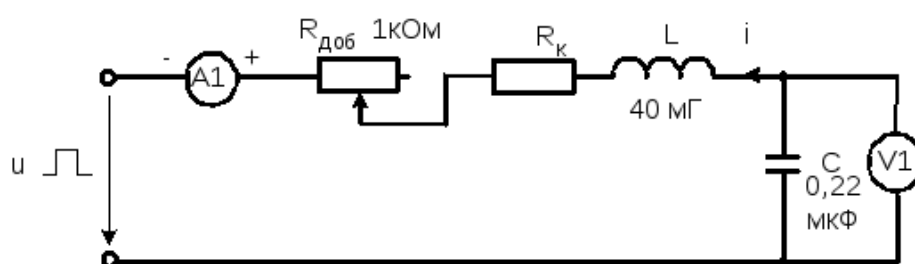
1. Физический смысл реактивной мощности — это энергия, перекачиваемая от источника на реактивные элементы приёмника (индуктивности, конденсаторы, обмотки двигателей), а затем возвращаемая этими элементами обратно в источник в течение одного периода колебаний, отнесённая к этому периоду. Она характеризует реактивную энергию - энергию не расходующуюся безвозвратно, а лишь временно запасующуюся в магнитном поле. Реактивная мощность характеризует энергию, совершающую колебания между источником и реактивным (индуктивным и/или ёмкостным) участком цепи без ее преобразования.
2. Если нагрузка индуктивная (трансформаторы, электродвигатели, дроссели, электромагниты), ток отстаёт по фазе от напряжения, если нагрузка ёмкостная (различные электронные устройства - конденсатор как накопитель энергии в импульсном блоке питания), то

ток по фазе опережает напряжение. Поскольку ток и напряжение не совпадают по фазе (реактивная нагрузка), то в нагрузку (потребителю) передается только часть мощности (полной мощности), которая могла бы быть передана в нагрузку, если бы сдвиг фаз был равен нулю (активная нагрузка).

3. Часть полной мощности, которую удалось передать в нагрузку за период переменного тока, называется активной мощностью. Она равна произведению действующих значений тока и напряжения на косинус угла сдвига фаз между ними ( $\cos \varphi$ ). Мощность, которая не была передана в нагрузку, а привела к потерям на нагрев и излучение, называется реактивной мощностью. Она равна произведению действующих значений тока и напряжения на синус угла сдвига фаз между ними ( $\sin \varphi$ ).
4. Несмотря на то, что реактивная энергия переносится от источника к реактивной нагрузке и обратно (дважды за период, каждую четверть периода меняя направление), реактивный ток вызывает дополнительные потери энергии в активном сопротивлении проводов, соответственно энергии от источника берется больше, чем возвращается (потери не вернутся обратно в источник), следовательно генератор (трансформатор, источник бесперебойного питания и т.п.) следует брать большей мощности, а провода большего сечения. В радиотехнике реактивная мощность может быть полезной (например колебательные контура).

### Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему по рисунку 11 и подключить источник напряжения (номиналы резисторов должны быть различны);
- 2 Включить виртуальные приборы;
- 3 Измерить колебания реактивной мощности на компьютере при изменении ёмкости конденсатора с 1 до 10 и 100 мкФ;
- 4 Провести расчет колебания реактивной мощности (действующие значения) при разных значениях ёмкости конденсатора;
5. Показания занести в таблицу.



*Рисунок 11 – Схема замещения электрической цепи анализа снижения амплитуды колебания реактивной мощности*

### **Варианты заданий**

*Таблица 3*

Вариант	U, В
1	15
2	7
3	5

### **Оформление отчета**

- 1 Проверить все измеренные и расчетные параметры;
- 2 Оформить отчет согласно Нормоконтроля;

### **Вопросы для подготовки к защите:**

1. Какие виды мощности существуют?
2. Как посчитать реактивную мощность?
3. Какие значения реактивно мощности допустимы в сетях для разных потребителей?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Выполнение лабораторных работ по дисциплине «Качество электрической энергии» является обязательной составной частью освоения дисциплины и служит базой для самостоятельной работы и успешного прохождения промежуточной аттестации по дисциплине.

Успешное освоение дисциплины позволит обучающемуся в полном объеме освоить последующие дисциплины учебного плана: «Производственная – преддипломная практика», «Выполнение выпускной квалификационной работы»



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Положение "Требования к оформлению текстовой и графической документации. Нормоконтроль" : принято решением Ученого Совета 22.02.2022 г., протокол № 6 ; утв. приказом директора от 25.02.2022 г. № ОУ-50. – Красноярск : КрИЖТ ИрГУПС, 2022. – 53 с. – URL: <http://irbis.krsk.irkups.ru/web/index.php?LNG=&C21COM=S&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS&S21FMT=fullwebr&S21ALL=%28%3C%2E%3E%3D005%2F%D0%9F%2052%2D141075687%3C%2E%3E%29&Z21ID=&S21SRW=AVHEAD&S21SRD=DOWN&S21STN=1&S21REF=3&S21CNR=20> (дата обращения: 24.06.2022). – Текст : электронный.
2. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, В. В. Гуров. – 3-е изд., стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 329 с. – URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=575058](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=575058) (дата обращения: 24.06.2022). – ISBN 978-5-4499-0768-4. – Режим доступа по подписке. – Текст: электронный.
3. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов / Б. И. Кудрин– 2-е изд. – Москва : Интернет Инжиниринг, 2006. – 672 с. – ISBN 5-89594-128-1. – Текст: непосредственный.
4. Улучшение качества электроэнергии в системах электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог : монография / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, И. А. Любченко, А. В. Черепанов ; под редакцией А. В. Крюкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 184 с. – URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=598052](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=598052) (дата обращения: 24.06.2022). – ISBN 978-5-4499-1580-1. – Режим доступа по подписке. – Текст: электронный.
5. Расчет показателей качества электрической энергии в системе тягового электроснабжения переменного тока : учебно-методическое пособие / авт.-сост. С. И. Макашева ; УМО ж.-д. – Москва : ГОУ "УМЦ ЖДТ", 2005. – 112 с. – Текст : непосредственный.

**Приложение А – Оформление титульного листа**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Иркутский государственный университет путей сообщения»  
**Красноярский институт железнодорожного транспорта**  
– филиал Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Иркутский государственный университет путей сообщения»  
(КрИЖТ ИрГУПС)

Факультет «Очное обучение»

Кафедра «Системы обеспечения движения поездов»

---

(тема)

Отчёт о лабораторной работе  
по дисциплине «Качество электрической энергии»

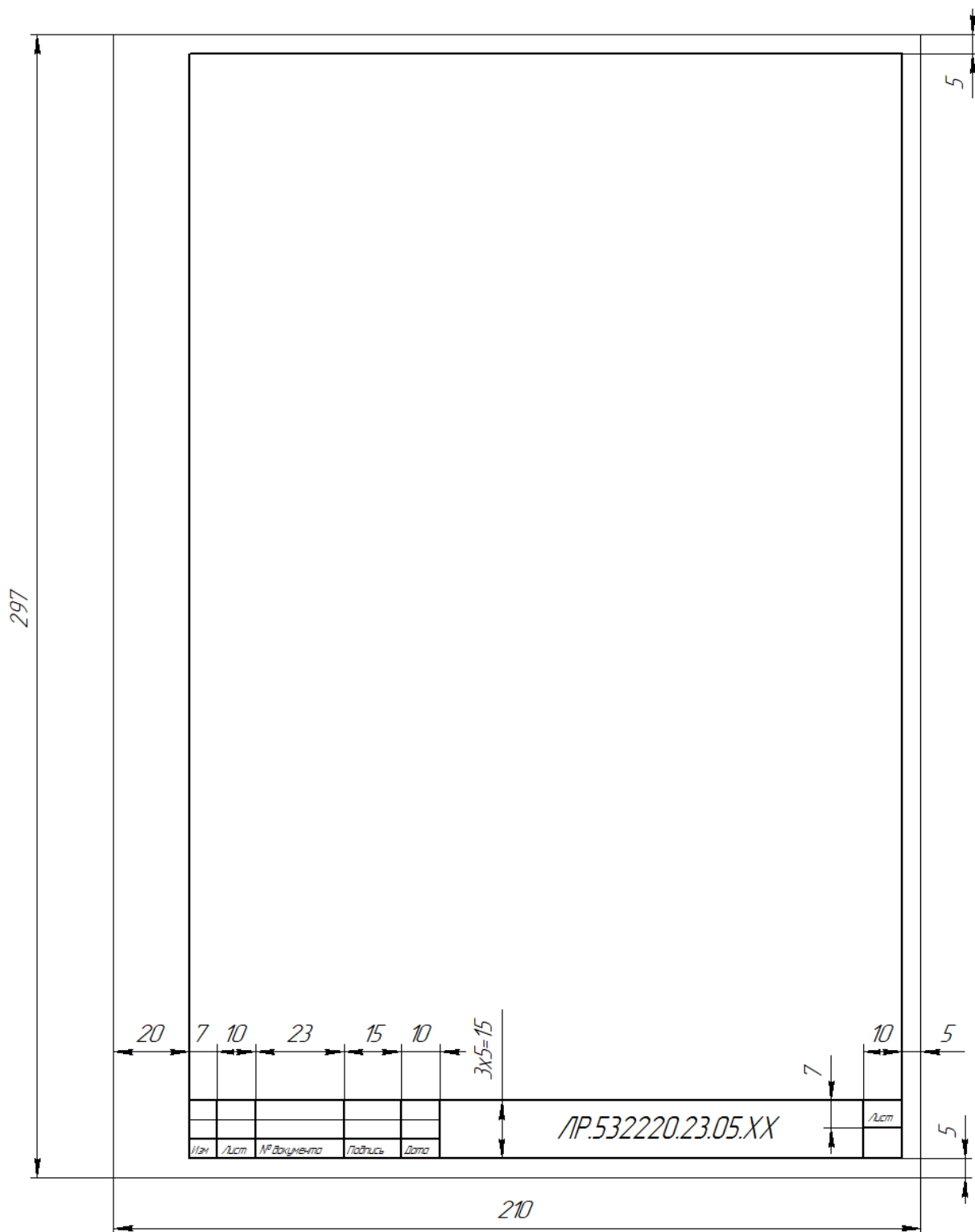
ЛР.532220.23.05.05

ВЫПОЛНИЛ  
студент гр. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

ПРИНЯЛ  
степень, звание, должность  
\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)  
\_\_\_\_\_  
(оценка)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Красноярск 2022

*Приложение Б – Оформление последующих листов отчёта  
лабораторной работы*



где XX – 05 для направления подготовки 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов.

*Учебно-методическое издание*

Алексей Романович ХРИСТИНИЧ  
Виталий Олегович КОЛМАКОВ

## **Энергосбережение в системах электроснабжения**

Методические указания  
к лабораторным работам для студентов всех форм обучения  
специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов  
специализация «Электроснабжение железных дорог»

---

Подписано в печать 31.08.2022 г.

Формат бумаги 60×84/16

0,94 авт. л.

2,25 печ. л.

экз.

План издания 2022 г. № <sup>п/п</sup> КриЖТ ИрГУПС

Протокол № 10 от 05.07.2022 г.

Отпечатано в КриЖТ ИрГУПС  
Красноярск, ул. Л. Кецховели, д. 89